

# Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/JP05/000703

International filing date: 20 January 2005 (20.01.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: JP  
Number: 2004-016536  
Filing date: 26 January 2004 (26.01.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 14 April 2005 (14.04.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland  
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

18.02.2005

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日            2 0 0 4 年   1 月 2 6 日  
Date of Application:

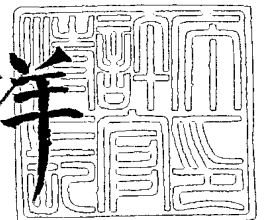
出 願 番 号            特 願 2 0 0 4 - 0 1 6 5 3 6  
Application Number:  
[ST. 10/C]:            [ J P 2 0 0 4 - 0 1 6 5 3 6 ]

出      願      人            日 立 化 成 工 業 株 式 有 限 公 司  
Applicant(s):

2 0 0 5 年   3 月 3 1 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

小 川 洋



【書類名】 特許願  
【整理番号】 HTK303  
【提出日】 平成16年 1月26日  
【あて先】 特許庁長官 殿  
【国際特許分類】 G02B 6/122  
【発明者】  
    【住所又は居所】 茨城県つくば市和台 4 8 日立化成工業株式会社 オプト事業推進部内  
    【氏名】 宮寺 信生  
【発明者】  
    【住所又は居所】 茨城県つくば市和台 4 8 日立化成工業株式会社 オプト事業推進部内  
    【氏名】 山本 礼  
【特許出願人】  
    【識別番号】 000004455  
    【氏名又は名称】 日立化成工業株式会社  
【代理人】  
    【識別番号】 100078732  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 大谷 保  
【選任した代理人】  
    【識別番号】 100081765  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 東平 正道  
【選任した代理人】  
    【識別番号】 100092934  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 塚脇 正博  
【選任した代理人】  
    【識別番号】 100089185  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 片岡 誠  
【選任した代理人】  
    【識別番号】 100119666  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 平澤 賢一  
【手数料の表示】  
    【予納台帳番号】 003171  
    【納付金額】 21,000円  
【提出物件の目録】  
    【物件名】 特許請求の範囲 1  
    【物件名】 明細書 1  
    【物件名】 図面 1  
    【物件名】 要約書 1

**【書類名】 特許請求の範囲****【請求項 1】**

コア及びクラッドからなる光導波路において、そのコア形状が中途に曲率の反転を有さず、かつ両端における曲率がゼロに漸近することを特徴とする曲線光導波路。

**【請求項 2】**

コア形状が以下の式〔I〕で定義される、請求項 1 に記載の曲線光導波路：

$$y = \sin \pi z \cdots \cdots \cdots \text{〔I〕}$$

上記式において、 $y$  及び  $z$  は光導波路が存在する平面上の直交する座標軸である。

**【請求項 3】**

コア形状が以下の式〔II〕で定義される、請求項 1 に記載の曲線光導波路：

$$y = z - [(1/\pi) \sin \pi z] \cdots \cdots \cdots \text{〔II〕}$$

上記式において、 $y$  及び  $z$  は光導波路が存在する平面上の直交する座標軸である。

**【請求項 4】**

コア形状が以下の式〔III〕で定義される、請求項 1 に記載の曲線光導波路：

$$y = z - [(a/\pi) \sin \pi z] \cdots \cdots \cdots \text{〔III〕}$$

上記式において、 $y$  及び  $z$  は光導波路が存在する平面上の直交する座標軸であり、 $a$  はゼロでない実数である。

**【請求項 5】**

請求項 1 に記載の曲線光導波路に別のコア形状の光導波路を光学的に接続して配置した光導波路。

**【請求項 6】**

請求項 1 に記載の曲線光導波路に別のコア形状の光導波路を、その幾何学的中心軸を一致させて光学的に接続して配置した光導波路。

**【請求項 7】**

前記別のコア形状の光導波路は分岐光導波路である請求項 5 または請求項 6 に記載の光導波路。

**【請求項 8】**

前記分岐光導波路の入力端を前記曲線光導波路の一方の端部に光学的に接続して配置した請求項 7 に記載の光導波路。

**【請求項 9】**

請求項 1 に記載の曲線光導波路の端部に光ファイバを光学的に接続して配置した光導波路。

**【請求項 10】**

請求項 1 に記載の曲線光導波路の端部に光ファイバを固定するためのガイド溝構造を隣接して配置した光導波路。

**【請求項 11】**

前記分岐光導波路の入力端を前記曲線光導波路の一方の端部に光学的に接続して配置し、かつ前記曲線光導波路の他方の端部には別の分岐光導波路を光学的に接続して配置した請求項 7 に記載の光導波路。

**【請求項 12】**

前記別のコア形状の光導波路は、コア及びクラッドからなる光導波路において、そのコア形状が中途に曲率の反転を有さず、かつ一端における曲率がゼロに漸近し、他端における曲率半径が有限な非 S 字型曲線光導波路である請求項 5 または請求項 6 に記載の光導波路。

**【請求項 13】**

前記コア形状が以下の式〔IV〕で定義される、請求項 12 に記載の光導波路：

$$y = 1 - \cos [(\pi/2) z] \cdots \cdots \cdots \text{〔IV〕}$$

上記式において、 $y$  及び  $z$  は光導波路が存在する平面上の直交する座標軸である。

**【請求項 14】**

前記コア形状が以下の式〔V〕で定義される、請求項 12 に記載の光導波路：

$$y = (1-t) f(z) + t \{1 - \cos[(\pi/2)z]\} \cdots [V]$$

上記式において、 $y$  及び  $z$  は光導波路が存在する平面上の直交する座標軸であり、 $f(z)$  は  $z$  の連続関数であり、 $f(0) = 0$ 、 $f(1) = 1$ 、 $f''(0) = 0$ 、 $f''(1) = 0$  を満足する関数であり、 $f''(z)$  は  $f(z)$  の  $z$  に関する 2 階微分を表す。 $t$  はゼロでない実数である。

【請求項 15】

前記コア形状が以下の式 [VI] で定義される、請求項 12 に記載の光導波路：

$$y = (1-t) z + t \{1 - \cos[(\pi/2)z]\} \cdots [VI]$$

上記式において、 $y$  及び  $z$  は光導波路が存在する平面上の直交する座標軸であり、 $t$  はゼロでない実数である。

【請求項 16】

前記コア形状が以下の式 [VII] で定義される、請求項 12 に記載の光導波路：

$$y = (1-t) [z - (a/\pi) \sin \pi z] + t [1 - \cos[(\pi/2)z]] \cdots [VII]$$

上記式において、 $y$  及び  $z$  は光導波路が存在する平面上の直交する座標軸であり、 $t$  および  $a$  はゼロでない実数である。

【請求項 17】

光導波路のコアおよび/またはクラッドの一部または全部がポリマーである請求項 1 ～ 請求項 16 のいずれかに記載の光導波路。

【請求項 18】

ポリマーがフッ素を含むポリイミド系樹脂である、請求項 17 に記載の光導波路。

【請求項 19】

請求項 1 ～ 請求項 18 のいずれかに記載の光導波路を用いた光学装置。

【書類名】明細書

【発明の名称】曲線光導波路及び光学装置

【技術分野】

【0001】

本発明は、曲線光導波路及びそれを用いた光学装置に関する。

【背景技術】

【0002】

近年のパソコンやインターネットの普及に伴い、情報伝送需要が急激に増大しており、伝送速度の速い光伝送が普及されつつある。光導波路はこのような光伝送における光インターコネクションとして使用されている。

光伝送のための分岐結合器を構成する場合などにおいて、 $1 \times 2$ 分岐構造を構成するには、2本の曲線光導波路が分岐構造部に接続する部分（分岐光導波路の出力端）では、理想的には両曲線光導波路の間隔を無限小から徐々に広げることが分岐部での過剰損失を小さくするために有効であるが、製造上の制約から歩留まりよく無限小の間隔を形成すること及び間隔を無限小から徐々に広げるとは極めて困難である。このため、該曲線光導波路の分岐光導波路の出力端との接続端部では軸ずれが生じた方が分岐部の過剰損失を小さく抑えることが可能である。すなわち、モード中心がそれぞれ内側に軸ずれを生じるため、両曲線光導波路の間隔を広く配置しても低損失に分岐部との接続が可能となる。このように、両曲線光導波路の間隔を広く配置することで、分岐部形状の製造ばらつきの影響を小さくすることができるばかりでなく、クラッド材料によって生じ得る狭幅部分の埋め込み不良を軽減することができる。このためには、円弧型曲線光導波路を有効に用いることができる。

【0003】

円弧を用いた曲線光導波路においてはその両端において曲率半径が有限であるため、直線光導波路と接続する場合には、該接続点において、曲率が不連続に変化するため、伝搬モードの中心軸が導波路構造の幾何学的中心位置に対して軸ずれを生ずるため、該接続部分でのモード整合を改善し、低損失な導波路を提供するためには、該接続部分の導波路構造に軸ずれを設ける必要があった。軸ずれ量は、コアとクラッドとの屈折率、コア寸法、波長に依存するため、屈折率やコア寸法が製造上のばらつきにより変動することによって、損失の変動要因となることが課題であった。また、波長依存性のため、広帯域の波長範囲で最適な軸ずれ量を設けることはできないことが課題であった。

一方、分岐光導波路の入力端に円弧型曲線光導波路を用いると曲率半径が有限であるため、モード中心が軸ずれを起こすとともに中心軸に対して非対称なモード形状となるため、分岐比を対称（1：1）にするのが困難であった。また、異なる波長においては、軸ずれ量及び非対称性が異なるため、広い波長範囲で分岐比を一定に保つことが困難であった。そこで、分岐光導波路の入力端には、直線光導波路を接続させる手法を用いたが、この直線光導波路と曲線光導波路との接続部分で過剰損失が生じるばかりでなく、光導波路の全長が長くなり光導波路が大型化してしまうという欠点があった。

すなわち、分岐光導波路の出力端においては、円弧型曲線光導波路との接続が有利である。一方、分岐光導波路の入力端においては、分岐比を対称にする（1：1）ためには、直線光導波路のような曲率半径が無限大（曲率がゼロ）である光導波路を接続することが好ましい。

【0004】

この光導波路（コア）の形状がS字型曲線などの曲線型である場合、曲率の不連続変化部分において光伝搬モードの中心軸がコアの幾何学的中心軸に対してずれが生じ、結果として光損失が生じる。この損失を低減するためには曲線の一部にコアの幾何学的中心軸をずらした軸ずれ構造部分（オフセット）を設ける必要がある。しかし、かかる軸ずれ構造はコアとクラッドとの屈折率、コア寸法、光波長に依存するため、製造上のばらつき等の要因により最適な軸ずれ構造を設けることは困難であり、光損失が生じる問題があるため、一般には軸ずれ構造を有さないことが好ましい。また、波長依存性のため、広帯域の波

長範囲で最適な軸ずれ量を設けることはできないことが課題であった。

ここでCADソフト等において、光導波路等における曲線形状を作成する関数が幾つか知られている。一つは曲率半径Rの二つの弧を逆方向に接続した形状（以下アーク結合形状と称する）である。アーク結合形状は接続点において曲率が不連続に変化するため、上述したように弧の接続部分に軸ずれ構造を設ける必要がある。

また、下記コサイン関数を用いた形状（CADソフト上ではSベンドコサインと称されている）も知られており、この形状では上記の軸ずれ構造を曲線の中途に設ける必要がない。

$$y = 1/2 (1 - \cos \pi z) \cdots \cdots \cdots \text{[VIII]}$$

しかし、両端においてその曲率が有限であるため、直線光導波路との接合において軸ずれ構造を設ける必要が生じる。（図2）

また、下記サイン関数を用いた形状（CADソフト上ではSベンドサインと称されている）は軸ずれ構造を中途に設ける必要がなく、両端においてその曲率半径が無限大（曲率がゼロ）となるので、直線光導波路と両端で接合する場合には中心軸が一致し、軸ずれ構造を設ける必要がない。

$$y = z - (1/2\pi) \sin 2\pi z \cdots \cdots \cdots \text{[IX]}$$

#### 【0005】

なお、光導波路のかかる軸ずれ構造については、文献（例えば非特許文献1参照）に一般的な記載がある。

また、分岐光導波路の変曲点及び出力導波路との接続点に軸ずれを設け、テーパ導波路の分岐点における分岐導波路の間に隙間を設け、曲線光導波路における界分布のピークのずれを補填できるようにした分岐合波光導波路が提案されている（特許文献1参照）。

さらにまた、多項弧の光導波路を用いてモジュール化を容易にした光結合器及びその製作方法も提案されている（特許文献2参照）。

#### 【0006】

【非特許文献1】光波工学、国分泰雄、共立出版株式会社、第250頁

【特許文献1】特許第2809517号公報

【特許文献2】特表2002-530690号公報

#### 【発明の開示】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0007】

本発明は、このような状況下で、上記のような、異なる性質の光導波路を接続する場合に好適に用いることのできる曲線光導波路を提供することを目的とするものである。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0008】

本発明はコア及びクラッドからなる光導波路において、そのコア形状が中途に曲率の反転を有さず、かつ両端における曲率がゼロに漸近することを特徴とする曲線光導波路を提供するものである。

また、本発明はこのような曲線光導波路に別のコア形状の光導波路を光学的に接続して配置した光導波路、ならびにこのような曲線光導波路を用いた光学装置も提供するものである。

すなわち、本発明は、

(1) コア及びクラッドからなる光導波路において、そのコア形状が中途に曲率の反転を有さず、かつ両端における曲率がゼロに漸近することを特徴とする曲線光導波路。

(2) コア形状が以下の式〔I〕で定義される、上記(1)に記載の曲線光導波路：

$$y = \sin \pi z \cdots \cdots \cdots \text{[I]}$$

上記式において、y及びzは光導波路が存在する平面上の直交する座標軸である。

(3) コア形状が以下の式〔II〕で定義される、上記(1)に記載の曲線光導波路：

$$y = z - [(1/\pi) \sin \pi z] \cdots \cdots \cdots \text{[II]}$$

上記式において、y及びzは光導波路が存在する平面上の直交する座標軸である。

(4) コア形状が以下の式 [III] で定義される、上記 (1) に記載の曲線光導波路:

$$y = z - [(a/\pi) \sin \pi z] \cdots \cdots \text{[III]}$$

上記式において、 $y$  及び  $z$  は光導波路が存在する平面上の直交する座標軸であり、 $a$  はゼロでない実数である。

(5) 上記 (1) に記載の曲線光導波路に別のコア形状の光導波路を光学的に接続して配置した光導波路。

(6) 上記 (1) に記載の曲線光導波路に別のコア形状の光導波路を、その幾何学的中心軸を一致させて光学的に接続して配置した光導波路。

(7) 前記別のコア形状の光導波路は分岐光導波路である上記 (5) もしくは上記 (6) に記載の光導波路。

(8) 前記分岐光導波路の入力端を前記曲線光導波路の一方の端部に光学的に接続して配置した上記 (7) に記載の光導波路。

(9) 上記 (1) に記載の曲線光導波路の端部に光ファイバを光学的に接続して配置した光導波路。

(10) 上記 (1) に記載の曲線光導波路の端部に光ファイバを固定するためのガイド溝構造を隣接して配置した光導波路。

(11) 前記曲線光導波路の他方の端部には別の分岐光導波路を光学的に接続して配置した上記 (7) に記載の光導波路。

(12) 前記別のコア形状の光導波路は、コア及びクラッドからなる光導波路において、そのコア形状が中途に曲率の反転を有さず、かつ一端における曲率がゼロに漸近し、他端における曲率半径が有限な非 S 字型曲線光導波路である上記 (5) または上記 (6) に記載の光導波路。

(13) 前記コア形状が以下の式 [IV] で定義される、上記 (12) に記載の光導波路:

$$y = 1 - \cos [(\pi/2) z] \cdots \cdots \text{[IV]}$$

上記式において、 $y$  及び  $z$  は光導波路が存在する平面上の直交する座標軸である。

(14) 前記コア形状が以下の式 [V] で定義される上記 (12) に記載の光導波路:

$$y = (1-t) f(z) + t \{1 - \cos [(\pi/2) z]\} \cdots \text{[V]}$$

上記式において、 $y$  及び  $z$  は光導波路が存在する平面上の直交する座標軸であり、 $f(z)$  は  $z$  の連続関数であり、 $f(0) = 0$ 、 $f(1) = 1$ 、 $f''(0) = 0$ 、 $f''(1) = 0$  を満足する関数であり、 $f''(z)$  は  $f(z)$  の  $z$  に関する 2 階微分を表す。 $t$  はゼロでない実数である。

(15) 前記コア形状が以下の式 [VI] で定義される、上記 (12) に記載の光導波路:

$$y = (1-t) z + t \{1 - \cos [(\pi/2) z]\} \cdots \text{[VI]}$$

上記式において、 $y$  及び  $z$  は光導波路が存在する平面上の直交する座標軸であり、 $t$  はゼロでない実数である。

(16) 前記コア形状が以下の式 [VII] で定義される、上記 (12) に記載の光導波路:

$$y = (1-t) [z - (a/\pi) \sin \pi z] + t [1 - \cos [(\pi/2) z]] \cdots \cdots \text{[VII]}$$

上記式において、 $y$  及び  $z$  は光導波路が存在する平面上の直交する座標軸であり、 $t$  および  $a$  はゼロでない実数である。

(17) 光導波路のコアおよび/またはクラッドの一部または全部がポリマーである上記

(1) ~ (16) のいずれかに記載の曲線光導波路。

(18) ポリマーがフッ素を含むポリイミド系樹脂である、上記 (17) に記載の曲線光導波路。

(19) 上記 (1) ~ (18) のいずれかに記載の光導波路を用いた光学装置を提供するものである。

【発明の効果】

【0009】

本発明の曲線光導波路を用いることで、両端において直線光導波路と軸ずれなしに低損



失に結合する光導波路を構成することができる。また、本発明の曲線光導波路は、直線光導波路への接合の他に、分岐構造の結合部（1 x 2であれば、1 c h 側）との接合に好適に用いることができる。この接合部分においては、従来の軸ずれが必要な曲線光導波路を用いた場合に比べ、製造ばらつきが小さく、歩留まりの良い光導波路を得ることができる。さらに、広い波長範囲において、良好な光導波路を提供することができる。

#### 【0010】

また、本発明の曲線光導波路は、簡単な関数で記載できるため、光導波路製造用マスクもしくは光導波路製造用成形型を作製する際に、一般的なCADにて容易に作成することができ、さらに光導波路を設計する際に、一般的なシミュレーションソフトウェアにて容易に作成することができる。

このように、本発明の曲線光導波路は、光導波路を設計、マスク作製、製造のプロセス全体を容易にする効果も有しており、これを用いて出来上がった光導波路の性能をも良好に実現できるものである。

#### 【発明を実施するための最良の形態】

#### 【0011】

本発明の曲線光導波路は、コア及びクラッドからなる光導波路において、そのコア形状が中途に曲率の反転を有さず、かつ両端における曲率がゼロに漸近することを特徴とする。

本発明の曲線光導波路としては、たとえば以下の式〔I〕で定義される関数を用いて実現することができる：

$$y = \sin \pi z \cdots \cdots \cdots \text{〔I〕}$$

上記式において、 $y$  及び  $z$  は光導波路が存在する平面上の直交する座標軸である。

上記式〔I〕では、座標系を始点が  $z = 0$ 、 $y = 0$ 、終点が  $z = 1$ 、 $y = 0$  となる形で規格化して示しているが、必要に応じて  $y$  方向及びまたは  $z$  方向に拡大縮小して用いることができる。また、必要に応じて向きを変えたり、反転させたりして用いることができる。

本発明の曲線光導波路としてはまた、以下の式〔II〕で定義される関数を用いて実現することができる：

$$y = z - [(1/\pi) \sin \pi z] \cdots \cdots \cdots \text{〔II〕}$$

上記式において、 $y$  及び  $z$  は光導波路が存在する平面上の直交する座標軸である。

上記式〔II〕では、座標系を始点が  $z = 0$ 、 $y = 0$ 、終点が  $z = 1$ 、 $y = 1$  となる形で規格化して示しているが、必要に応じて  $y$  方向及びまたは  $z$  方向に拡大縮小して用いることができる。また、必要に応じて向きを変えたり、反転させたりして用いることができる。

また、本発明の曲線光導波路としては、以下の式〔III〕で定義される関数を用いて実現することができる：

$$y = z - [(a/\pi) \sin \pi z] \cdots \cdots \cdots \text{〔III〕}$$

上記式において、 $y$  及び  $z$  は光導波路が存在する平面上の直交する座標軸であり、 $a$  はゼロでない実数である。 $a = 1$  の時に、上記式〔III〕は、上記式〔II〕と一致する。上記式〔III〕では、座標系を始点が  $z = 0$ 、 $y = 0$ 、終点が  $z = 1$ 、 $y = 1$  となる形で規格化して示しているが、必要に応じて  $y$  方向及びまたは  $z$  方向に拡大縮小して用いることができる。また、必要に応じて向きを変えたり、反転させたりして用いることができる。

#### 【0012】

本発明の曲線光導波路はそのコア形状が中途に曲率の反転を有さない曲線光導波路製造用マスクであって、曲線光導波路両端における曲率がゼロに漸近することを特徴とするパターンを有するマスクを用いて製造することができる。

本発明の曲線光導波路は、上述したマスクを用いることにより、従来の曲線光導波路について公知の手順で同様に作製することができる。例えばクラッド上にコア材料（後述）からなる層を設けた後、この層の上に感光性レジスト層を設け、上記マスクを載せて、露光、現像を行い、本発明の曲線光導波路形状を有するコアを形成する。また、上記マスク材料には、公知のいずれのものを用いても良い。

#### 【0013】

本発明の曲線光導波路に別のコア形状の光導波路を光学的に接続して配置した光導波路を構成することが可能である。また、本発明の曲線光導波路に別のコア形状の光導波路を、その幾何学的中心軸を一致させて光学的に接続して配置した光導波路を構成することも可能である。別のコア形状の光導波路としては、例えば分岐光導波路が考えられ、その一つの例として分岐光導波路であり、その入力端を前記曲線光導波路の一方の端部に光学的に接続して配置した光導波路がある。更に具体的には前記別のコア形状の光導波路は、コア及びクラッドからなる光導波路において、そのコア形状が中途に曲率の反転を有さず、かつ一端における曲率がゼロに漸近し、他端における曲率半径が有限な非 S 字型曲線光導波路が考えられる。

#### 【0014】

一端における曲率がゼロに漸近し、他端における曲率半径が有限な非 S 字型曲線光導波路のコア形状は：

$$y = 1 - \cos \left[ \left( \frac{\pi}{2} \right) z \right] \cdots \cdots \cdots \text{[IV]}$$

上記式において、 $y$  及び  $z$  は光導波路が存在する平面上の直交する座標軸である。

$$y = (1-t) f(z) + t \{ 1 - \cos \left[ \left( \frac{\pi}{2} \right) z \right] \} \cdots \cdots \text{[V]}$$

上記式において、 $y$  及び  $z$  は光導波路が存在する平面上の直交する座標軸であり、 $f(z)$  は  $z$  の連続関数であり、 $f(0) = 0$ 、 $f(1) = 1$ 、 $f''(0) = 0$ 、 $f''(1) = 0$  を満足する関数であり、 $f''(z)$  は  $f(z)$  の  $z$  に関する 2 階微分を表す。 $t$  はゼロでない実数である。

$$y = (1-t) z + t \{ 1 - \cos \left[ \left( \frac{\pi}{2} \right) z \right] \} \cdots \cdots \text{[VI]}$$

上記式において、 $y$  及び  $z$  は光導波路が存在する平面上の直交する座標軸であり、 $t$  はゼロでない実数である。

$$y = (1-t) \left[ z - \left( \frac{a}{\pi} \right) \sin \pi z \right] + t \left[ 1 - \cos \left[ \left( \frac{\pi}{2} \right) z \right] \right] \cdots \cdots \text{[VII]}$$

上記式において、 $y$  及び  $z$  は光導波路が存在する平面上の直交する座標軸であり、 $t$  および  $a$  はゼロでない実数である。  
などで表される。

#### 【0015】

次に、添付した図面に基いて本願発明を更に詳細に説明する。図 1 は本発明の曲線光導波路の両端における直線光導波路との接続部を表した図である。図 1 において、直線光導波路コア部分 11 及び 12 が本発明の曲線光導波路コア部分 1 の両端部 B、B に接続されている。本発明の曲線光導波路 1 は、両端部 B、B ににおいて曲率半径が無限大（曲率がゼロ）に漸近している。図 2 は従来の曲線光導波路の両端における直線光導波路との接続部を表した図である。図 2 において、直線光導波路コア部分 11 及び 12 が従来の曲線光導波路コア部分 10 の両端部 A、A に接続されている。従来の曲線光導波路 10 は、両端部 A において曲率半径が有限である。

#### 【0016】

既に記載している通り、本発明の曲線光導波路は、簡単な関数で記載できるため、光導波路製造用マスクもしくは光導波路製造用成型型を作製する際に、一般的な CAD にて容易に作成することができ、さらに光導波路を設計する際に、一般的なシミュレーションソフトウェアにて容易に作成することができる。

シミュレーションソフトウェアによっては、光導波路部分構造の回転操作が困難な場合がある。このような場合には、上記式 [II] の曲線光導波路を用いると入力端にて  $z$  方向に平行で出力端にて  $z$  方向と角度  $\theta$  をもつ光導波路を容易に与えることができる。さらに、上記式 [III] の曲線光導波路を用いると入力端にて  $z$  方向と角度  $\theta_1$ 、出力端にて  $z$  方向と角度  $\theta_2$  をもつ光導波路を容易に与えることができる。

上記を以下に更に説明する。

(イ) 式 [I] の場合 (図 3 参照)

$$y' = \pi \cos \pi z$$

$$z = 0 \text{ (入力端) のとき、接線の傾きは、} y' = \tan \theta = \pi \text{ (左端部)}$$

$z = 1$  (出力端) のとき、接線の傾きは、 $y' = \tan \theta = -\pi$  (右端部)

もとの式に定数倍してもかまわないので、 $\pi$  という数字自体に意味はないが、両端とも  $z$  軸方向から傾いている ( $\theta \neq 0$ )。

(ロ) 式 [II] の場合 (図 4 参照)

$$y' = 1 - \cos \pi z$$

$z = 0$  (入力端) のとき、接線の傾きは、 $y' = \tan \theta = 0$ 。つまり、

$\theta = 0$  である。(左端部)

$z = 1$  (出力端) のとき、接線の傾きは、 $y' = \tan \theta = 2$  (右端部)

もとの式に定数倍してもかまわないので、2 という数字自体に意味はないが、始点では、 $z$  軸方向に平行であり、終点では、 $z$  軸から傾いている ( $\theta \neq 0$ ) ので使い勝手が良い。例えば、 $z$  軸に平行な直線に接続して、出力端に傾けたい時など便利である。

(ハ) 式 [III] の場合 (図 5 参照)

$$y' = 1 - a \cdot \cos \pi z$$

$z = 0$  (入力端) のとき、接線の傾きは、 $y' = \tan \theta 1 = 1 - a$  (右端部)

$z = 1$  (出力端) のとき、接線の傾きは、 $y' = \tan \theta 2 = 1 + a$  (左端部)

もとの式に定数倍してもかまわないので、 $1 - a$ 、 $1 + a$  という数字自体に意味はないが、始点では  $z$  軸方向と  $\theta 1$ 、終点では  $z$  軸方向と  $\theta 2$  傾いている曲線を与えることができるので使い勝手が良い。例えば、 $z$  軸とある傾き  $\theta 1$  を持った光導波路に接続して、出力端を  $\theta 2$  に傾けたい時など便利である。なお、 $a = 1$  の場合は式 [III] は式 [II] と一致する。

#### 【0017】

図 6 は本発明で用いる別の新しい曲線光導波路の両端における直線光導波路との接続部を表した図である。図 6 において、直線光導波路コア部分 11 及び 12 が本発明で用いる別の新しい曲線光導波路コア部分 21 の両端部 A、B に接続されている。本発明で用いる図 6 に示した曲線光導波路 21 は、端部 A において曲率半径が有限で、端部 B において曲率半径が無限大 (曲率がゼロ) に漸近している。図 1、図 2 及び図 6 は両端を直線光導波路と良好に (低過剰損失に) 接続した場合の構成例である。端部 A では、光学中心がオフセットしているため、曲線光導波路と直線光導波路との接続部分で光導波路中心部分をずらす必要があるが、端部 B では、光学中心がオフセットしていないため、接続部分で光導波路中心を一致させて接続できる。

#### 【0018】

図 7 は図 1 に示した曲線光導波路の端部 B の有効な利用例を表した図である。図 7 において、直線光導波路コア部分 11 に本願発明の曲線光導波路 1 の一端が接続されており、更に本願発明の曲線光導波路 1 の他端に分岐構造コア部分 31 の入力部分が接続されている。図 8 は図 1 に示した曲線光導波路の端部の図 7 とは別の有効な利用例を表した図である。図 8 では本発明の曲線光導波路コア部分 1 の一方の端部に図 6 に示した曲線光導波路コア部分 21 の端部 B が接続されており、本発明の曲線光導波路コア部分 1 の他方の端部に直線光導波路コア部分 12 に接続されている。図 9 は図 1 に示した曲線光導波路の端部 B の更に図 8 とは別の有効な利用例を表した図である。図 9 において、本発明の曲線光導波路コア部分 1 ~ 4 の各一方の端部にマルチモード光導波路 41 が接続されている。

#### 【0019】

図 10 は図 1 に示した曲線光導波路の端部の更に図 9 とは別の有効な利用例を表した図である。すなわち、本発明の曲線光導波路コア部分 1 の一方の端部に通常の光ファイバ 42 のコア部分が接続している。図 11 は図 1 に示した曲線光導波路の端部の更に図 10 とは別の有効な利用例を表した図である。すなわち、本発明の曲線光導波路コア部分 1 の一方の端部に通常の光ファイバ用ガイド溝 43 が接続している。

#### 【0020】

図 12 は本願の光学装置の一例として、本発明の曲線光導波路を用いた光スプリッタの一実施態様を示す図である。図 12 において、本願の光学装置は実線で示す本発明の曲線光導波路 1 ~ 6 に破線で示す図 6 のコア形状の曲線光導波路 21 ~ 26 をそれぞれ光学的

に接続して配置して光導波路を構成し、更に分岐光導波路 31~33 及び光ファイバ用ガイド溝 43~47 も接続して光スプリッタ 200 を構成している。図 13 はやはり本願の光学装置の一例として、本発明の曲線光導波路を用いた図 12 とは別の光スプリッタの一実施態様を示す図である。すなわち、実線で示す本発明の曲線光導波路 1~2 と破線で示す図 6 のコア形状の曲線光導波路 21~24 に分岐光導波路 31~33 を接続配置して更に光ファイバ用ガイド溝 43~47 も接続して光スプリッタ 201 を構成している。

光導波路等を接続するとは、光学的に接続されていれば良く、大きな損失が生じない程度に必要に応じて間隙を設けたり、接着層が設けられていても良い。こうすることで、本発明の曲線光導波路の応用範囲が広がる。

#### 【0021】

本発明の光導波路においてはコアおよび/またはクラッドの一部または全部がポリマーであることが好ましく、さらにポリマーはフッ素を含むポリイミド系樹脂であることが好ましい。

本発明の光導波路のコア、クラッド材料としてはガラスや半導体材料等の無機材料、樹脂等の有機材料など様々なものが挙げられるが、樹脂等のポリマーがドライエッチング等により短時間で加工しやすいため好ましい。なお、クラッドの全部若しくは一部として空気層を用いてもよい。このようなポリマーとしてはいずれのものも使用できるが、具体例としては、ポリイミド系樹脂（例、ポリイミド樹脂、ポリ（イミド・イソインドロキナゾリンジオンイミド）樹脂、ポリエーテルイミド樹脂、ポリエーテルケトン樹脂、ポリエステルイミド樹脂等）、シリコン系樹脂、アクリル系樹脂、ポリスチレン系樹脂、ポリカーボネート系樹脂、ポリアミド系樹脂、ポリエステル系樹脂、フェノール系樹脂、ポリキノリン系樹脂、ポリキノキサリン系樹脂、ポリベンゾオキサゾール系樹脂、ポリベンゾチアゾール系樹脂、ポリベンゾイミダゾール系樹脂、及びフォトリソ用樹脂（例、特開 2001-296438 号公報記載のポリシラン、ニトロン化合物を有するシリコン樹脂、DMA PN { (4-N, N-ジメチルアミノフェニル) -N-フェニルニトロン } を含有するポリメタクリル酸メチル、ダイポリマー (dye polymer)、ニトロン化合物を含有するポリイミド樹脂あるいはエポキシ樹脂、特開 2000-66051 号公報記載の加水分解性シラン化合物等）が挙げられる。上記樹脂はフッ素原子を有しているものであってもよい。ポリマーとして好ましいものとしては、ガラス転移温度 (T<sub>g</sub>) が高く、耐熱性に優れることからポリイミド樹脂が挙げられ、その中でも透過率、屈折率特性からフッ素を含むポリイミド系樹脂が特に好ましい。

#### 【0022】

フッ素を含むポリイミド系樹脂としては、フッ素を含むポリイミド樹脂、フッ素を含むポリ（イミド・イソインドロキナゾリンジオンイミド）樹脂、フッ素を含むポリエーテルイミド樹脂、フッ素を含むポリアミドイミド樹脂などが挙げられる。

#### 【0023】

上記フッ素を含むポリイミド系樹脂の前駆体溶液は、N-メチル-2-ピロリドン、N, N-ジメチルアセトアミド、γ-ブチロラクトン、ジメチルスルホキシドなどの極性溶媒中で、テトラカルボン酸二無水物とジアミンを反応させることにより得られる。フッ素は、テトラカルボン酸二無水物とジアミンの両者に含まれていても良いし、いずれか一方にのみ含まれていてもよい。

また、上記フッ素を含まないポリイミド系樹脂の前駆体溶液は、N-メチル-2-ピロリドン、N, N-ジメチルアセトアミド、γ-ブチロラクトン、ジメチルスルホキシドなどの極性溶媒中で、フッ素を含まないテトラカルボン酸二無水物とフッ素を含まないジアミンを反応させることにより得られる。

#### 【0024】

フッ素を含む酸二無水物の例としては、(トリフルオロメチル)ピロメリット酸二無水物、ジ(トリフルオロメチル)ピロメリット酸二無水物、ジ(ヘptaフルオロプロピル)ピロメリット酸二無水物、ペンタフルオロエチルピロメリット酸二無水物、ビス {3, 5-ジ(トリフルオロメチル)フェノキシ} ピロメリット酸二無水物、2, 2-ビス (3,

4-ジカルボキシフェニル) ヘキサフルオロプロパン二無水物、5, 5'-ビス(トリフルオロメチル)-3, 3', 4, 4'-テトラカルボキシビフェニル二無水物、2, 2', 5, 5'-テトラキス(トリフルオロメチル)-3, 3', 4, 4'-テトラカルボキシビフェニル二無水物、5, 5'-ビス(トリフルオロメチル)-3, 3', 4, 4'-テトラカルボキシジフェニルエーテル二無水物、5, 5'-ビス(トリフルオロメチル)-3, 3', 4, 4'-テトラカルボキシベンゾフェノン二無水物、ビス{(トリフルオロメチル)ジカルボキシフェノキシ}ベンゼン二無水物、ビス{(トリフルオロメチル)ジカルボキシフェノキシ}(トリフルオロメチル)ベンゼン二無水物、ビス(ジカルボキシフェノキシ)(トリフルオロメチル)ベンゼン二無水物、ビス(ジカルボキシフェノキシ)ビス(トリフルオロメチル)ベンゼン二無水物、ビス(ジカルボキシフェノキシ)テトラキス(トリフルオロメチル)ベンゼン二無水物、2, 2'-ビス{(4-(3, 4-ジカルボキシフェノキシ)フェニル)ヘキサフルオロプロパン二無水物、ビス{(トリフルオロメチル)ジカルボキシフェノキシ}ビフェニル二無水物、ビス{(トリフルオロメチル)ジカルボキシフェノキシ}ビス(トリフルオロメチル)ビフェニル二無水物、ビス{(トリフルオロメチル)ジカルボキシフェノキシ}ジフェニルエーテル二無水物、ビス(ジカルボキシフェノキシ)ビス(トリフルオロメチル)ビフェニル二無水物などが挙げられる。

#### 【0025】

フッ素を含むジアミンとしては、例えば、4-(1H, 1H, 11H-エイコサフルオロウンデカノキシ)-1, 3-ジアミノベンゼン、4-(1H, 1H-パーフルオロ-1-ブタノキシ)-1, 3-ジアミノベンゼン、4-(1H, 1H-パーフルオロ-1-ヘプタノキシ)-1, 3-ジアミノベンゼン、4-(1H, 1H-パーフルオロ-1-オクタノキシ)-1, 3-ジアミノベンゼン、4-ペンタフルオロフェノキシ-1, 3-ジアミノベンゼン、4-(2, 3, 5, 6-テトラフルオロフェノキシ)-1, 3-ジアミノベンゼン、4-(4-フルオロフェノキシ)-1, 3-ジアミノベンゼン、4-(1H, 1H, 2H, 2H-パーフルオロ-1-ヘキサノキシ)-1, 3-ジアミノベンゼン、4-(1H, 1H, 2H, 2H-パーフルオロ-1-ドデカノキシ)-1, 3-ジアミノベンゼン、2, 5-ジアミノベンゾトリフルオリド、ビス(トリフルオロメチル)フェニレンジアミン、ジアミノテトラ(トリフルオロメチル)ベンゼン、ジアミノ(ペンタフルオロエチル)ベンゼン、2, 5-ジアミノ(パーフルオロヘキシル)ベンゼン、2, 5-ジアミノ(パーフルオロブチル)ベンゼン、2, 2'-ビス(トリフルオロメチル)-4, 4'-ジアミノビフェニル、3, 3'-ビス(トリフルオロメチル)-4, 4'-ジアミノビフェニル、オクタフルオロベンジジン、4, 4'-ジアミノジフェニルエーテル、2, 2'-ビス(p-アミノフェニル)ヘキサフルオロプロパン、1, 3-ビス(アニリノ)ヘキサフルオロプロパン、1, 4-ビス(アニリノ)オクタフルオロブタン、1, 5-ビス(アニリノ)デカフルオロペンタン、1, 7-ビス(アニリノ)テトラデカフルオロヘプタン、2, 2'-ビス(トリフルオロメチル)-4, 4'-ジアミノジフェフェニルエーテル、3, 3', 5, 5'-テトラキス(トリフルオロメチル)-4, 4'-ジアミノジフェニルエーテル、3, 3'-ビス(トリフルオロメチル)-4, 4'-ジアミノベンゾフェノン、4, 4'-ジアミノ-p-テルフェニル、1, 4-ビス(p-アミノフェニル)ベンゼン、p-ビス(4-アミノ-2-トリフルオロメチルフェノキシ)ベンゼン、ビス(アミノフェノキシ)ビス(トリフルオロメチル)ベンゼン、ビス(アミノフェノキシ)テトラキス(トリフルオロメチル)ベンゼン、2, 2'-ビス{4-(4-アミノフェノキシ)フェニル}ヘキサフルオロプロパン、2, 2'-ビス{4-(3-アミノフェノキシ)フェニル}ヘキサフルオロプロパン、2, 2'-ビス{4-(2-アミノフェノキシ)フェニル}ヘキサフルオロプロパン、2, 2'-ビス{4-(4-アミノフェノキシ)-3, 5-ジメチルフェニル}ヘキサフルオロプロパン、2, 2'-ビス{4-(4-アミノフェノキシ)-3, 5-ジトリフルオロメチルフェニル}ヘキサフルオロプロパン、4, 4'-ビス(4-アミノ-2-トリフルオロメチルフェノキシ)ビフェニル、4, 4'-ビス(4-アミノ-3-トリフルオロメチルフェノキシ)ビフェニル、4, 4'-ビス(

4-アミノ-2-トリフルオロメチルフェノキシ)ジフェニルスルホン、4, 4'-ビス(3-アミノ-5-トリフルオロメチルフェノキシ)ジフェニルスルホン、2, 2'-ビス{4-(4-アミノ-3-トリフルオロメチルフェノキシ)フェニル}ヘキサフルオロプロパン、ビス{(トリフルオロメチル)アミノフェノキシ}ビフェニル、ビス[{(トリフルオロメチル)アミノフェノキシ}フェニル]ヘキサフルオロプロパン、ビス{2-[(アミノフェノキシ)フェニル]ヘキサフルオロイソプロピル}ベンゼンなどが挙げられる。

#### 【0026】

上記のテトラカルボン酸二無水物およびジアミンは二種以上を併用してもよい。ポリイミド系樹脂の前駆体溶液として、感光性を有するものを使用することもできる。

ポリイミド系樹脂前駆体溶液は、スピナあるいは印刷などによる方法により基板表面上に塗布され、最終温度200～400℃で熱処理し硬化されてポリイミド系樹脂被膜とされる。

#### 【0027】

本発明の光学装置は上記(1)～(18)のいずれかに記載の光導波路を用いて構成される。このような光学装置としては、光スプリッタ、方向性光結合器、光カップラ、光合分岐器、光合分波器、光送信モジュール、光受信モジュール、光送受信モジュール、光スイッチ、光変調器、光フィルタ、光偏向器、光分散補償器、光アドドロップモジュール、光クロスコネクタなどがあげられる。

#### 【実施例】

#### 【0028】

次に、本発明を実施例により、さらに詳細に説明するが、本発明は、この例によってなんら限定されるものではない。

#### 【0029】

##### 実施例1

本発明の曲線部分における過剰損失を以下のように評価した。(入力波長1.31μm及び1.55μm)

式〔II〕の関数で表される曲線を中心線とする本発明の光導波路1～4を図14のように接続して配置した。この際、z軸方向の長さは、2.6775mm、z軸と垂直方向の長さは、0.125mmとした。具体的には、式〔II〕を次式で表されるようにして、z方向、x方向に拡大縮小して、光導波路の形状を得た。

光導波路の中心線の軌跡：

$$x/\text{height} = z/\text{length} - \sin[\pi(z/\text{length})]/\pi \cdots \cdots [X]$$

但し、height=0.125mm、length=2.6775mmである。

なお、中央部と介在部との接続部にオフセットは設けなかった。また、接続部において両曲線の接線が略平行となるように配置した。さらに、介在部の外側の入出力部には、z軸方向に平行な直線を中心線とする長さ0.1mmの光導波路11、12を接続した。入出力部と介在部との接続部においてもオフセットは設けなかった。図14のように構成された上記光導波路は、z軸方向の全長10.91mm、x軸方向の振れ幅0.25mmである。このように構成した光導波路の過剰損失は、-0.004dB(入力波長1.31μmの場合)、-0.003dB(入力波長1.55μmの場合)であった。

#### 【0030】

##### 比較例1

比較のために、実施例1と同様に、z軸方向の全長10.91mm、x軸方向の振れ幅0.25mmとなるように、光導波路を構成した。但し、ここでは、式〔II〕の曲線の代わりに円弧を用いた。また、実施例1と同様に、中央部、介在部に用いた円弧光導波路のz軸方向の長さは、全て2.6775mmとした。なお、中央部と介在部との接続部にオフセットは設けなかった。入出力部と介在部との接続部においてもオフセットは設けなかった。このように構成した光導波路の過剰損失は、-0.059dB(入力波長1.31μmの場合)、-0.095dB(入力波長1.55μmの場合)であり、実施例1に

比べて大きな過剰損を示した。

#### 【0031】

##### 比較例 2

比較のために、比較例 1 と同様に、 $z$  軸方向の全長  $10.91\text{ mm}$ 、 $x$  軸方向の振れ幅  $0.25\text{ mm}$  となるように、光導波路を構成した。但し、ここでは、中央部と介在部との接続部に  $0.2\text{ }\mu\text{ m}$  のオフセットを設けた。入出力部と介在部との接続部においては  $0.1\text{ }\mu\text{ m}$  のオフセットを設けた。このように構成した光導波路の過剰損失は、 $-0.013\text{ dB}$  (入力波長  $1.31\text{ }\mu\text{ m}$  の場合)、 $-0.039\text{ dB}$  (入力波長  $1.55\text{ }\mu\text{ m}$  の場合) であり、実施例 1 に比べて大きな過剰損を示した。波長  $1.31\text{ }\mu\text{ m}$  では、オフセットの効果により過剰損失が低減したが、波長  $1.55\text{ }\mu\text{ m}$  では、過剰損失の低減は十分ではなく、両波長において同時に低損失を実現できなかった。

#### 【0032】

##### 比較例 3

比較のために、比較例 1 と同様に、 $z$  軸方向の全長  $10.91\text{ mm}$ 、 $x$  軸方向の振れ幅  $0.25\text{ mm}$  となるように、光導波路を構成した。但し、ここでは、中央部と介在部との接続部に  $0.4\text{ }\mu\text{ m}$  のオフセットを設けた。入出力部と介在部との接続部においては  $0.2\text{ }\mu\text{ m}$  のオフセットを設けた。このように構成した光導波路の過剰損失は、 $-0.013\text{ dB}$  (入力波長  $1.31\text{ }\mu\text{ m}$  の場合)、 $-0.019\text{ dB}$  (入力波長  $1.55\text{ }\mu\text{ m}$  の場合) であり、実施例 1 に比べて大きな過剰損を示した。波長  $1.31\text{ }\mu\text{ m}$ 、 $1.55\text{ }\mu\text{ m}$  ともに、オフセットの効果により過剰損失が低減したが、過剰損失の低減は実施例 1 に比べると十分ではなかった。

#### 【0033】

##### 比較例 4

比較のために、比較例 1 と同様に、 $z$  軸方向の全長  $10.91\text{ mm}$ 、 $x$  軸方向の振れ幅  $0.25\text{ mm}$  となるように、光導波路を構成した。但し、ここでは、中央部と介在部との接続部に  $0.6\text{ }\mu\text{ m}$  のオフセットを設けた。入出力部と介在部との接続部においては  $0.3\text{ }\mu\text{ m}$  のオフセットを設けた。このように構成した光導波路の過剰損失は、 $-0.060\text{ dB}$  (入力波長  $1.31\text{ }\mu\text{ m}$  の場合)、 $-0.036\text{ dB}$  (入力波長  $1.55\text{ }\mu\text{ m}$  の場合) であり、実施例 1 に比べて大きな過剰損を示した。波長  $1.55\text{ }\mu\text{ m}$  では、オフセットの効果によりわずかに過剰損失が低減したが、波長  $1.31\text{ }\mu\text{ m}$  では、オフセットを設けなかった比較例 1 と同等の過剰損失にとどまり、両波長において同時に低損失を実現できなかった。

#### 【0034】

##### 比較例 5

比較のために、比較例 1 と同様に、 $z$  軸方向の全長  $10.91\text{ mm}$ 、 $x$  軸方向の振れ幅  $0.25\text{ mm}$  となるように、光導波路を構成した。但し、ここでは、中央部と介在部との接続部に  $0.8\text{ }\mu\text{ m}$  のオフセットを設けた。入出力部と介在部との接続部においては  $0.4\text{ }\mu\text{ m}$  のオフセットを設けた。このように構成した光導波路の過剰損失は、 $-0.155\text{ dB}$  (入力波長  $1.31\text{ }\mu\text{ m}$  の場合)、 $-0.092\text{ dB}$  (入力波長  $1.55\text{ }\mu\text{ m}$  の場合) であり、実施例 1 に比べて大きな過剰損を示した。波長  $1.31\text{ }\mu\text{ m}$  では、オフセットを設けなかった比較例 1 と比べると、オフセットの逆効果により過剰損失がかえって増大した、波長  $1.55\text{ }\mu\text{ m}$  では、過剰損失の低減効果はわずかであった。両波長において同時に低損失を実現できなかった。

#### 【0035】

以上の実施例及び比較例で用いた光導波路の構成要素、形状及び損失結果について、表 1 にまとめて示した。表 1 からわかるように、実施例 1 は、いずれの比較例と比べても、波長  $1.31\text{ }\mu\text{ m}$ 、 $1.55\text{ }\mu\text{ m}$  ともに低損失であった。また、円弧を組み合わせて構成した光導波路では、接続部での損失を低減するためにオフセットを種々変えて評価してみたが、両波長での低損失を同時に満足することができなかった。すなわち、複数の波長で使用される光導波路や、広帯域の波長範囲で用いられる光導波路では、オフセットして接

続した場合であっても、全波長範囲で低損失を実現することができないことがわかる。

【0036】

【表1】

項目	入出力部		介在部		接続部		中間部			全長	波長	損失	
	導波路形状	オフセット	導波路形状	x幅	z長	オフセット	導波路形状	x幅	z長			dB	
実施例1	直線	なし	本願曲線	125 $\mu$ m	2677.5 $\mu$ m	なし	本願曲線	125 $\mu$ m	2677.5 $\mu$ m	10910 $\mu$ m	1.31 $\mu$ m	-0.004	
比較例1	直線	なし	円弧	125 $\mu$ m	2677.5 $\mu$ m	なし	円弧	125 $\mu$ m	2677.5 $\mu$ m	10910 $\mu$ m	1.55 $\mu$ m	-0.003	
比較例2	直線	0.1 $\mu$ m	円弧	125 $\mu$ m	2677.5 $\mu$ m	0.2 $\mu$ m	円弧	125 $\mu$ m	2677.5 $\mu$ m	10910 $\mu$ m	1.31 $\mu$ m	-0.059	
比較例3	直線	0.2 $\mu$ m	円弧	125 $\mu$ m	2677.5 $\mu$ m	0.4 $\mu$ m	円弧	125 $\mu$ m	2677.5 $\mu$ m	10910 $\mu$ m	1.55 $\mu$ m	-0.095	
比較例4	直線	0.3 $\mu$ m	円弧	125 $\mu$ m	2677.5 $\mu$ m	0.6 $\mu$ m	円弧	125 $\mu$ m	2677.5 $\mu$ m	10910 $\mu$ m	1.31 $\mu$ m	-0.013	
比較例5	直線	0.4 $\mu$ m	円弧	125 $\mu$ m	2677.5 $\mu$ m	0.8 $\mu$ m	円弧	125 $\mu$ m	2677.5 $\mu$ m	10910 $\mu$ m	1.55 $\mu$ m	-0.019	
											1.31 $\mu$ m	-0.060	
											1.55 $\mu$ m	-0.036	
											1.31 $\mu$ m	-0.155	
											1.55 $\mu$ m	-0.092	

【0037】



## 実施例 2

次に、図 15 に示した構成の  $1 \times 8$  スプリッタについて過剰損失を計算した。図中実線の部分 1 に式 [I I] の関数で表される曲線、実線の部分 2 ~ 10 に式 [I I I] の関数で表される曲線をそれぞれ有する本発明の光導波路を用い、点線の部分 51 ~ 64 には図 6 の曲線光導波路や直線光導波路を、また 34 ~ 40 の部分にはマルチモード光導波路を用いた。接続に本発明の光導波路を用いた場合は、平均  $-9.53$  dB (入力波長  $1.31 \mu\text{m}$  の場合)、平均  $-9.76$  dB (入力波長  $1.55 \mu\text{m}$  の場合) であった。次に比較のため、図 14 と同様の構成の  $1 \times 8$  スプリッタを従来のアーク曲線と直線を用いて過剰損失を計算した。アーク曲線光導波路を用いた場合は平均  $-9.62$  dB (入力波長  $1.31 \mu\text{m}$  の場合)、平均  $-9.91$  dB (入力波長  $1.55 \mu\text{m}$  の場合) であった。なお、過剰損失の計算にはビーム伝搬法 (BPM) を用いた。このように、分岐光導波路間を接続するために本発明の曲線光導波路を用いると損失を低減させることができた。

また、以下のようにして、上記のコアパターンをマスクを作製した。コアパターン寸法はプロセスで変化するので、変化量を考慮したコアパターンを CAD で製図した。コアパターン以外にもマスクと基板の位置精度を向上させるためのアライメントマークや、その他パターン計測等に使用するマーカもマスクに追加した。CAD の製図の手順は、製図作業の効率をよくするため、初めに 1 素子分のパターンを製図し、前記 1 素子分のパターンを配列複写してマスク全体にパターンを配置する。1 素子分のパターンには、レイヤーを設けコアパターンを製図したレイヤー以外にも、違うレイヤーを用いてパターンを製図することが可能である。以上のように製図した CAD 図面からマスク基板にパターンを露光機を用いて直接描画し、パターン部分を Cr の金属膜で埋めたマスクと、パターン部分以外を Cr の金属膜で埋めたマスクとを製作した。上記 2 つのマスクは、コアパターン形成プロセスで使用するレジストの種類及び光導波路製造におけるコア形成プロセスの種類によって使い分けることが可能である。

以上のように、本発明の曲線光導波路を用いて構成された  $1 \times 8$  スプリッタでは、アーク結合形状の S 字型曲線光導波路を用いて構成された従来のスプリッタよりも良好な過剰損失を示した。

【0038】

## 実施例 3

以下の材料を用いて、図 15 に示される概略構造を有する曲線光導波路を有する光スプリッタを作製した。

コア：日立化成工業株式会社製 OPI-N3205

クラッド：日立化成工業株式会社製 OPI-N1005

製造方法；V溝が形成されたシリコンウエハ上に有機ジルコニウムキレートのスピンコート法により乾燥膜厚  $100$  オングストロームとなるように塗布し、乾燥後、その上にフッ素を含まないポリイミド樹脂を乾燥膜厚  $0.3 \mu\text{m}$  となるように塗布し、乾燥後、フッ素を含むポリイミド樹脂からなる下部クラッド層 ( $8 \mu\text{m}$ ) 及びコア層 ( $6.5 \mu\text{m}$ ) を形成した。次にコア層の上にシリコン含有レジストを  $0.5 \mu\text{m}$  厚となるように塗布、乾燥し、実施例 2 で作製したマスクのコアパターンを介して露光、現像し、このレジストパターンを介して反応性イオンエッチングを行い、コア層を形成した。レジスト剥離後、上部クラッド層 ( $15 \mu\text{m}$ ) を形成してポリイミド光導波路を作成した。その後、ダイシングによりチップに切り出した。

得られた光導波路の挿入損失を評価した。評価にあたっては、光導波路基板の両端に形成された V 溝をガイドとして光ファイバを固定して測定した。光源としては、波長  $1.31 \mu\text{m}$  の半導体レーザを用いた。本発明の曲線光導波路を用いた場合の挿入損失は、平均  $-11.8$  dB (入力波長  $1.31 \mu\text{m}$  の場合)、平均  $-11.8$  dB (入力波長  $1.55 \mu\text{m}$  の場合)、アーク曲線光導波路を用いた場合の挿入損失は、平均  $-12.4$  dB (入力波長  $1.31 \mu\text{m}$  の場合)、平均  $-12.3$  dB (入力波長  $1.55 \mu\text{m}$  の場合) であった。

以上のように、本発明の曲線光導波路を用いて構成された  $1 \times 8$  型ツリー構成のスプリ

ットでは、アーク曲線光導波路を用いて構成された従来のスプリッタよりも良好な挿入損失を示した。

#### 【産業上の利用可能性】

##### 【0039】

以上説明してきたように、上記(1)記載の発明によれば、曲線光導波路を用いることで、両端において直線光導波路と軸ずれなしに低損失に結合する光導波路を構成することができる。また、本発明の曲線光導波路は、直線光導波路への接合の他に、上記(8)記載の発明のように分岐構造の結合部(1x2であれば、1ch側)との接合に好適に用いることができる(図15の1の部分)。この接合部分においては、従来の軸ずれが必要な曲線光導波路を用いた場合に比べ、製造ばらつきが小さく、歩留まりの良い光導波路を得ることができる。さらに、広い波長範囲において、良好な光導波路を提供することができる。また、上記(12)記載の発明のようにコア及びクラッドからなる光導波路において、そのコア形状が中途に曲率の反転を有さず、かつ一端における曲率がゼロに漸近し、他端における曲率半径が有限な非S字型曲線光導波路(図15の54と2の部分や62と8の部分など)、上記(7)記載の発明のようにマルチモード光導波路と分岐光導波路(図15の1, 2の部分)を用いたり、上記(9)～(10)記載の発明によれば非S字型曲線光導波路を用いるので短尺化が可能であり、分岐の際には分岐比が安定する上、方向変換も可能となり、スプリッターの大規模化を小スペースで効率的に実現できる(図15の1, 3～10の部分)。

上記(2)～(16)記載の発明によれば、曲線光導波路が簡単な関数で記載できるため、光導波路製造用マスクもしくは光導波路製造用成形型を作製する際に、一般的なCADにて容易に作成することができる。本発明の曲線光導波路は、簡単な関数で記載できるため、光導波路を設計する際に、一般的なシミュレーションソフトウェアにて容易に作成することができる。シミュレーションソフトウェアによっては、光導波路部分構造の回転操作が困難な場合がある。このような場合には、上記式[II]の曲線光導波路を用いると入力端にてz方向に平行で出力端にてz方向と角度 $\theta$ をもつ光導波路を容易に与えることができる。さらに、上記式[III]の曲線光導波路を用いると入力端にてz方向と角度 $\theta_1$ 、出力端にてz方向と角度 $\theta_2$ をもつ光導波路を容易に与えることができる。このように、本発明の曲線光導波路は、光導波路を設計、マスク作製、製造のプロセス全体を容易にする効果も有しており、これを用いて出来上がった光導波路の性能をも良好に実現できるものである。

上記(5)～(16)記載の発明特に上記(10)、(11)記載の発明によれば、構成する曲線光導波路同士の互いの長所を生かし、短所を補い、かつスペース効率の高い光導波路が得られる。

上記(17)または上記(18)記載の発明によれば、短時間で加工し易く耐熱性に優れ、透過率・屈折率特性に優れた曲線光導波路が得られる。

上記(19)記載の発明によれば、光学特性並びに伝送特性に優れ、スペース効率の高い光スプリッタ、方向性光結合器、光カップラ、光合分岐器、光合分波器、光送信モジュール、光受信モジュール、光送受信モジュール、光スイッチ、光変調器、光フィルタ、光偏向器、光分散補償器、光アドドロップモジュール、光クロスコネクタなどが得られる。

以上のように、本発明の曲線光導波路及び光学装置によれば、異なる性質の光導波路を接続する場合に好適に用いることのできる曲線光導波路及び光学装置が得られる。

#### 【図面の簡単な説明】

##### 【0040】

【図1】本発明の曲線光導波路の両端における直線光導波路との接続部を表した図である。

【図2】従来の曲線光導波路の両端における直線光導波路との接続部を表した図である。

【図3】本発明の曲線光導波路において、コア形状が式[I]で定義される場合の説明図である。

【図 4】本発明の曲線光導波路において、コア形状が式〔I I〕で定義される場合の説明図である。

【図 5】本発明の曲線光導波路において、コア形状が式〔I I I〕で定義される場合の説明図である。

【図 6】本発明で用いる別の新しい曲線光導波路の両端における直線光導波路との接続部を表した図である。

【図 7】図 1 に示した曲線光導波路の端部 B の有効な利用例を表した図である。

【図 8】図 1 に示した曲線光導波路の端部 B の図 7 とは別の有効な利用例を表した図である。

【図 9】図 1 に示した曲線光導波路の端部 B の更に図 8 とは別の有効な利用例を表した図である。

【図 10】図 1 に示した曲線光導波路の端部 B の更に図 9 とは別の有効な利用例を表した図である。

【図 11】図 1 に示した曲線光導波路の端部の更に図 10 とは別の有効な利用例を表した図である。

【図 12】本発明の曲線光導波路を用いた光スプリッタの一実施態様を示す図である。

【図 13】本発明の曲線光導波路を用いた光スプリッタの図 12 とは別の一実施態様を示す図である。

【図 14】実施例 1 で用いた光導波路を示す図である。

【図 15】実施例 2 及び実施例 3 で用いた 1×8 光スプリッタを示す図である。

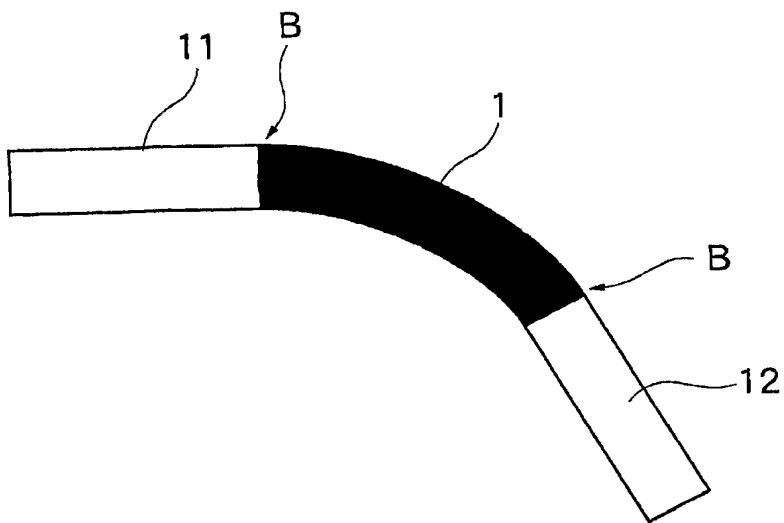
#### 【符号の説明】

##### 【0041】

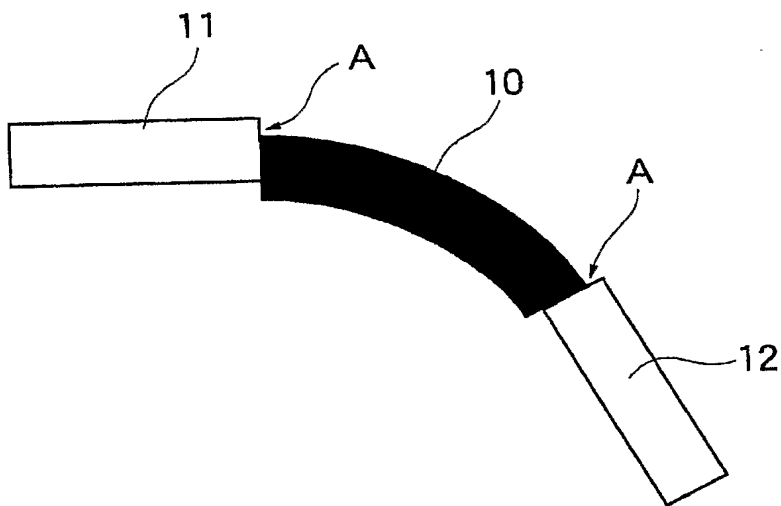
- 1～10：本発明の曲線光導波路
- 20：従来の曲線光導波路
- 11～15：直線光導波路
- 21～30：本発明で用いる別の新しい曲線光導波路
- 31～33：分岐構造
- 34～40：マルチモード光導波路を用いた分岐構造
- 41：マルチモード光導波路
- 42：光ファイバ
- 43：光ファイバ用ガイド溝
- 50：クラッド
- 51～64：本発明で用いる別の新しい曲線光導波路及び／または直線光導波路から構成される光導波路
- 100：光導波路形成領域
- 200、201：光スプリッタ
- A：曲率半径が有限な端部
- B：曲率半径が無限大（曲率がゼロ）に漸近している端部

【書類名】 図面

【図 1】

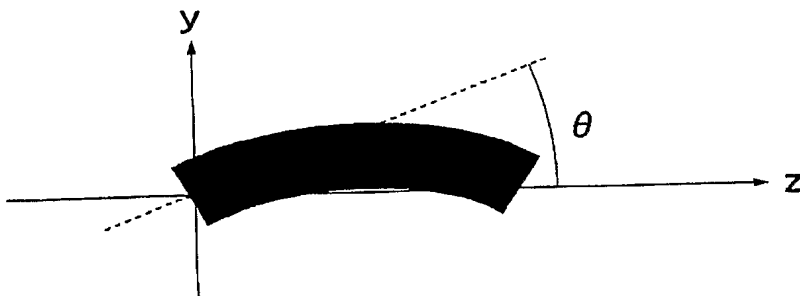


【図 2】



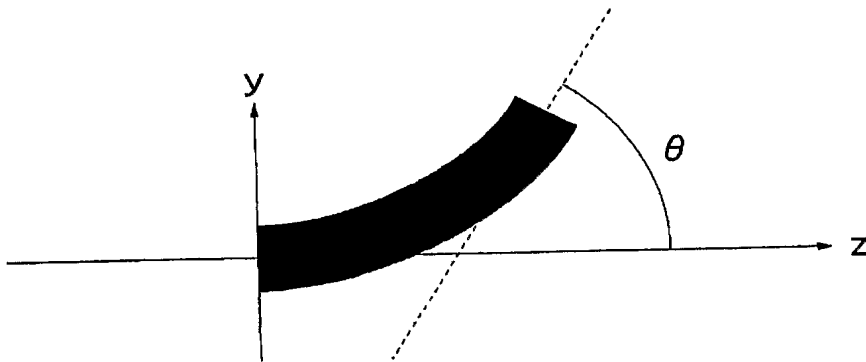
【図 3】

- ・ 左端部(入力端)は、 $z$ 軸と角度  $\theta$
- ・ 右端部(出力端)は、 $z$ 軸と角度  $-\theta$



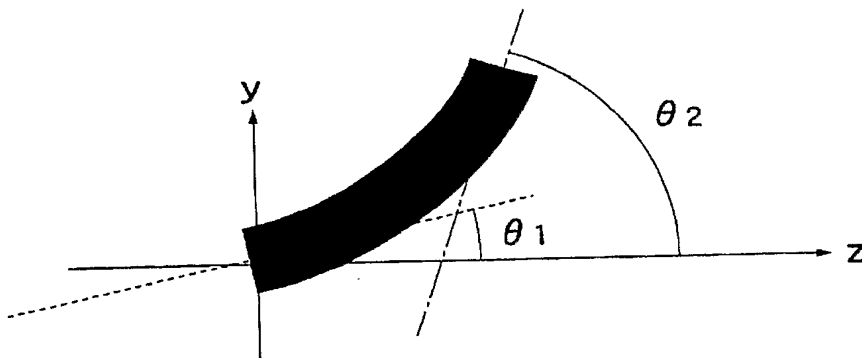
【図 4】

- ・ 左端部(入力端)は、 $z$ 軸と平行
- ・ 右端部(出力端)は、 $z$ 軸と角度  $\theta$

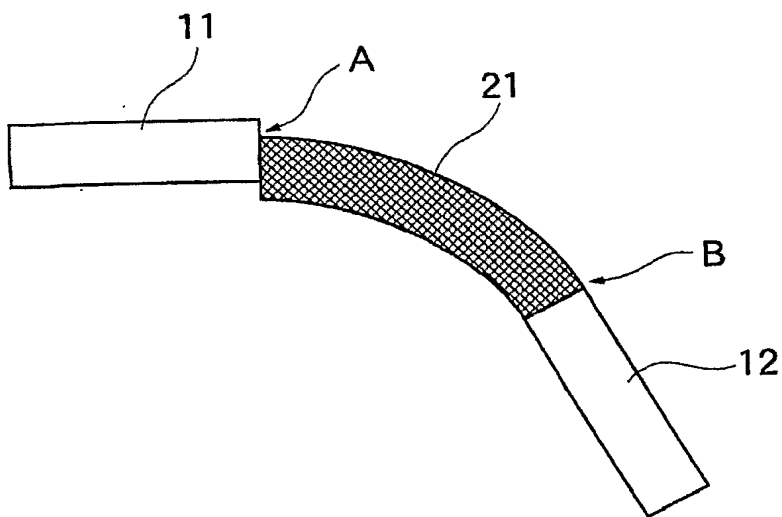


【図 5】

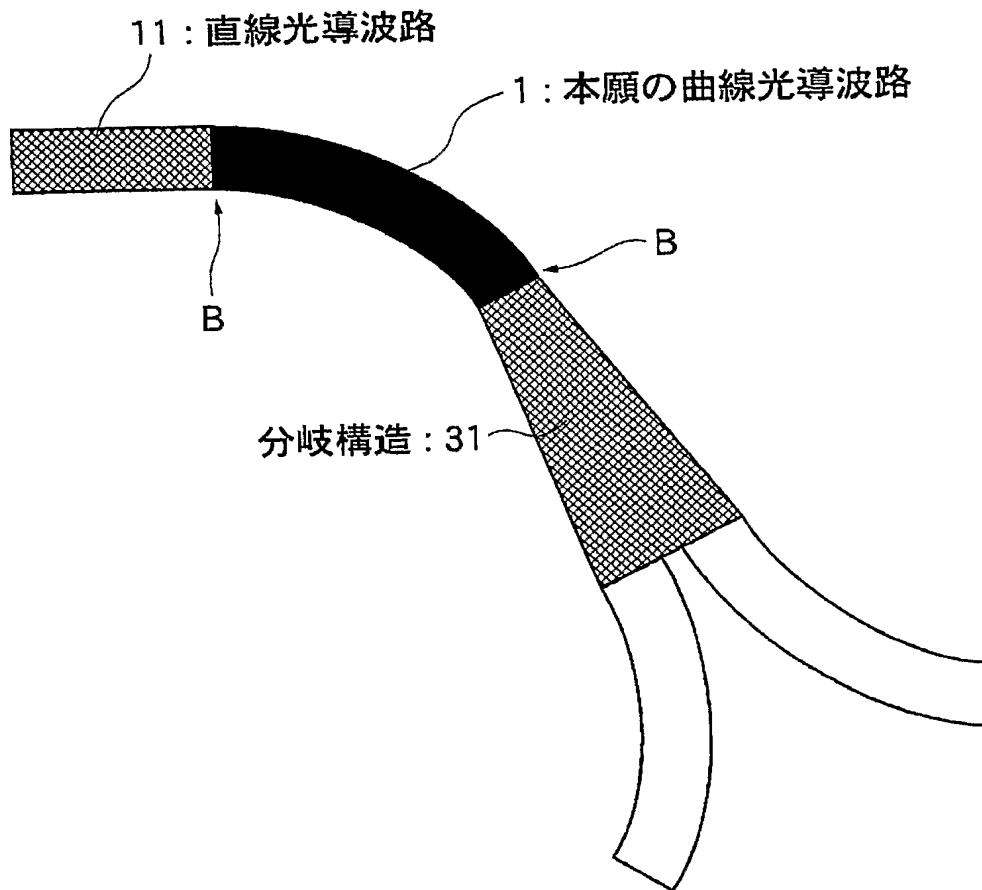
- ・ 左端部(入力端)は、 $z$ 軸と角度  $\theta_1$
- ・ 右端部(出力端)は、 $z$ 軸と角度  $\theta_2$



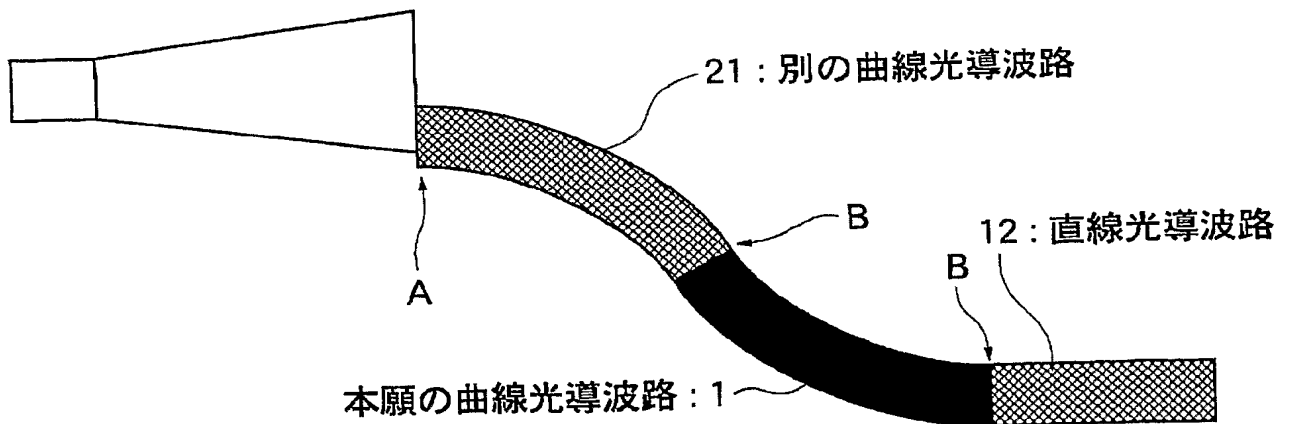
【図 6】



【図 7】

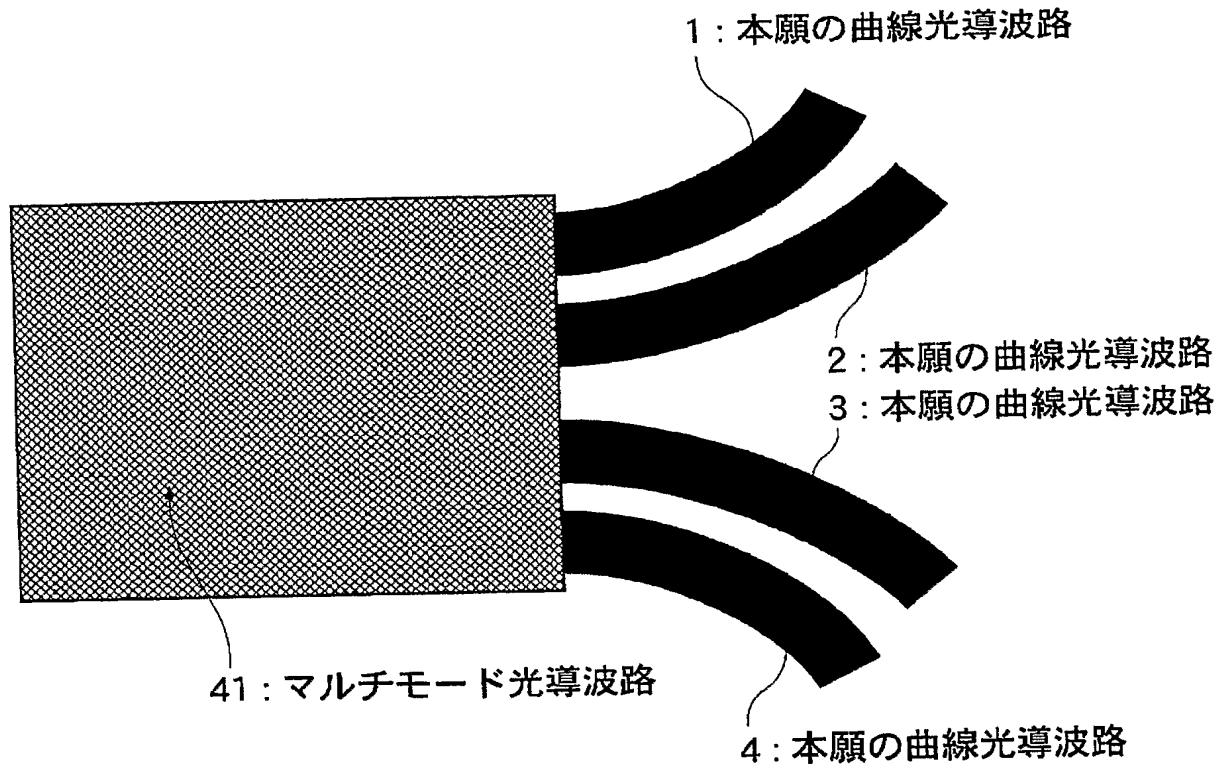


【図 8】



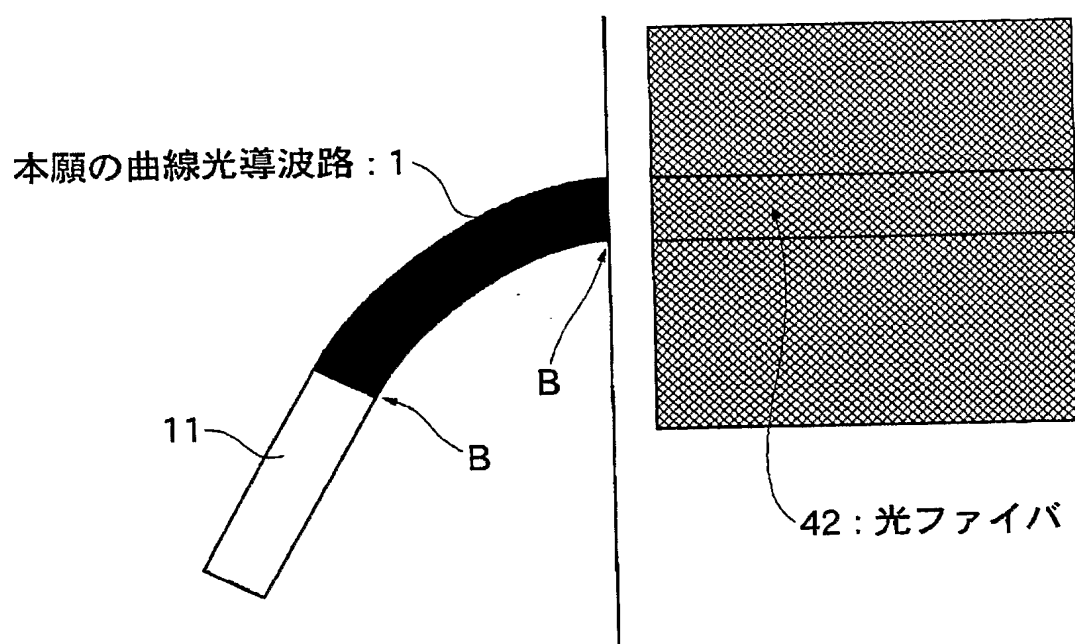
【図 9】

・マルチモード光導波路と接続



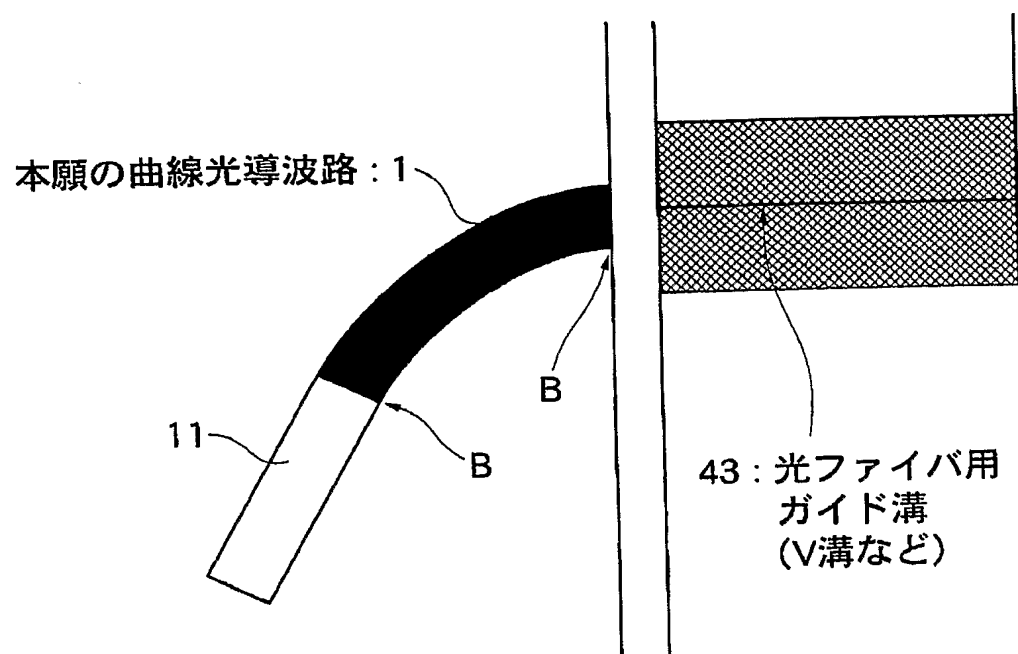
【図10】

## ・光ファイバと接続



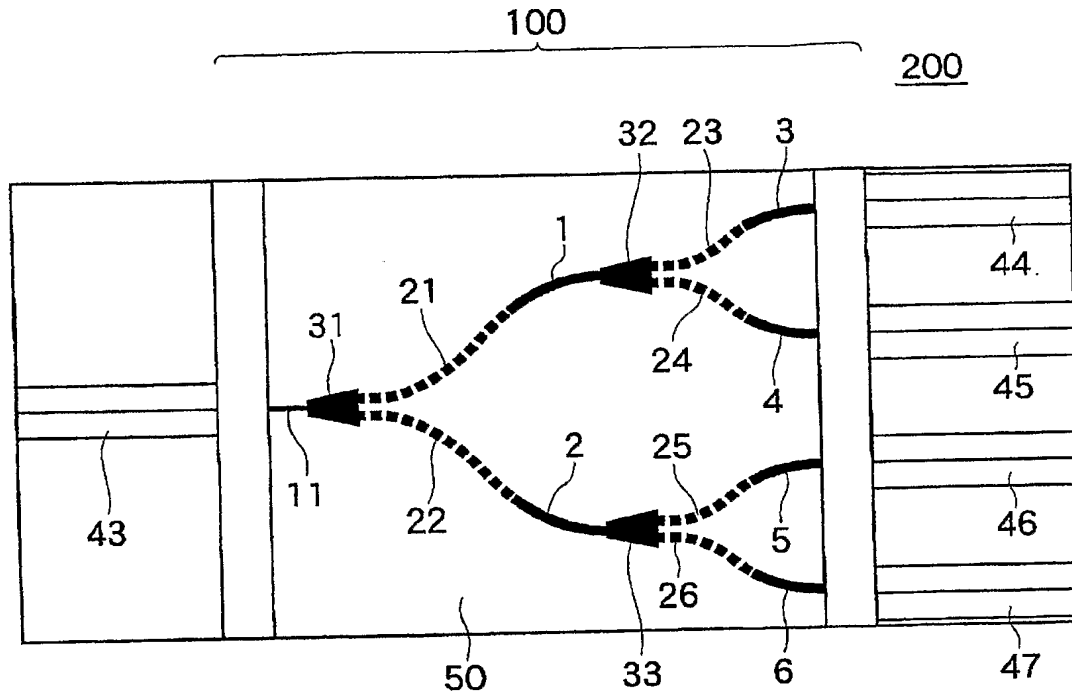
【図11】

## ・光ファイバ設置用ガイド溝と接続

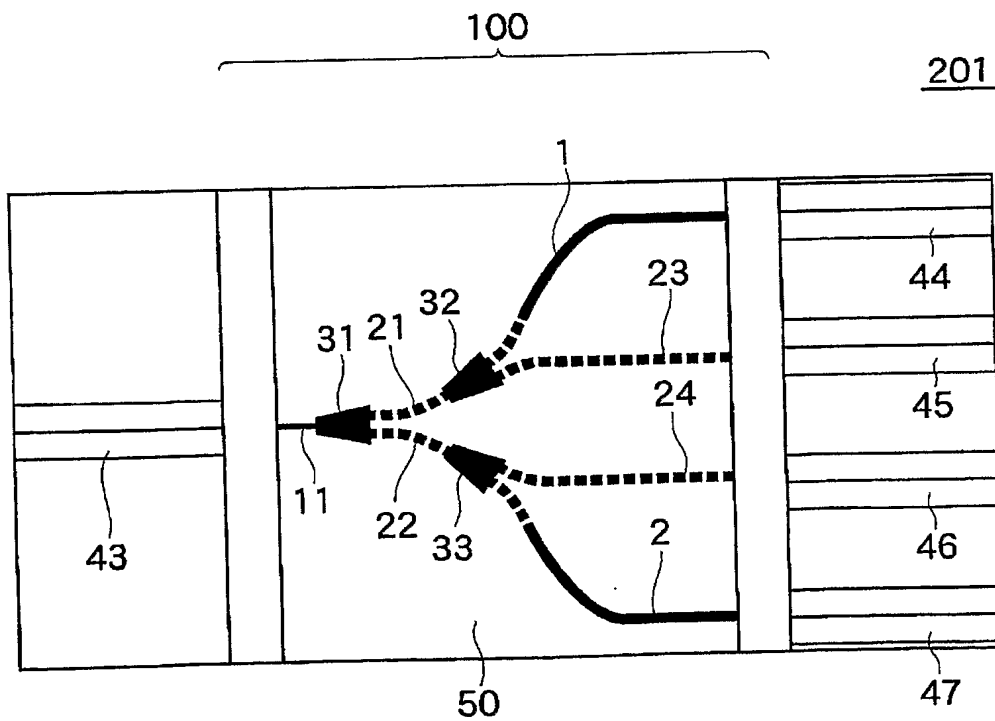




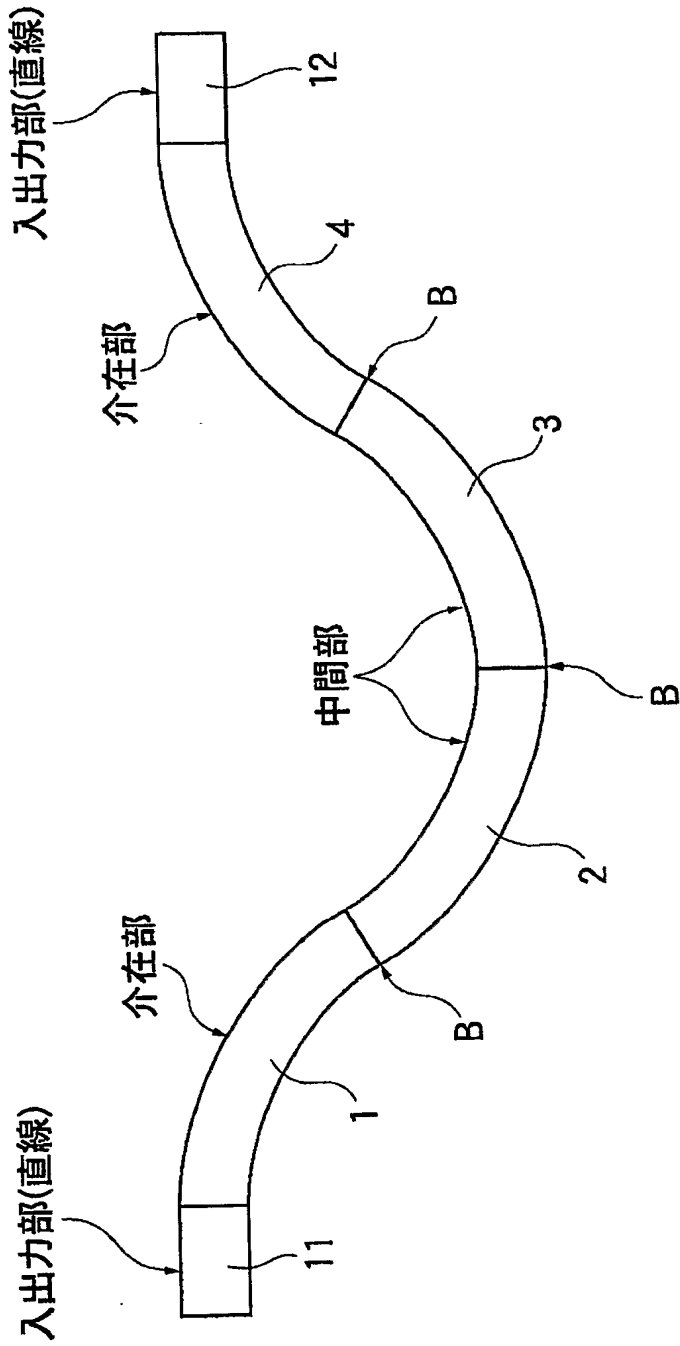
【図 12】



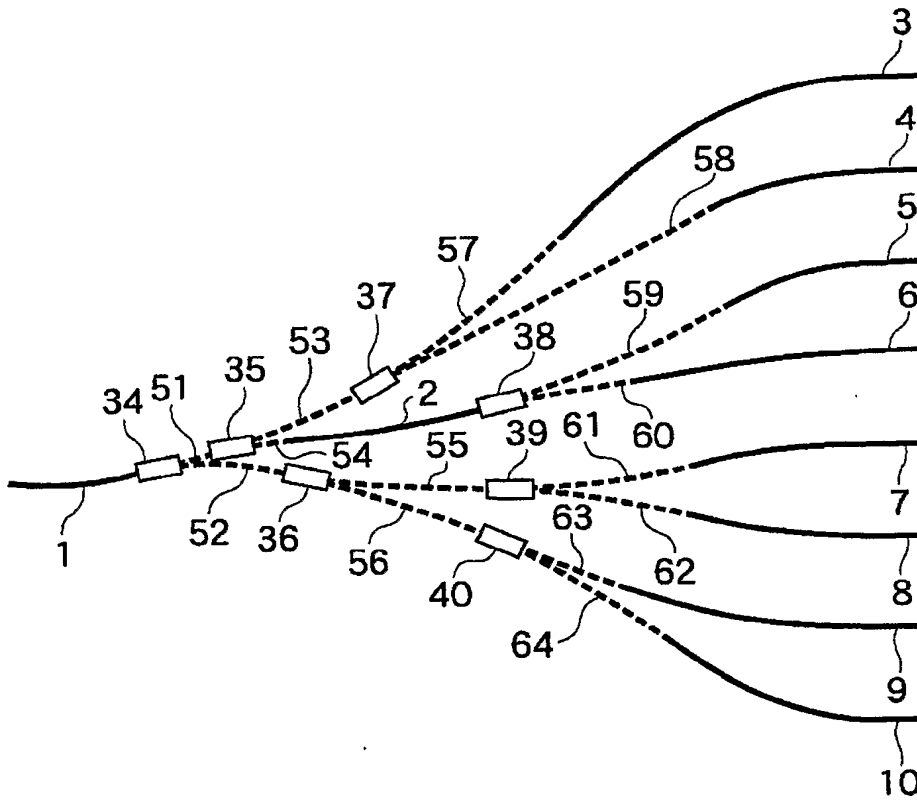
【図 13】



【図 14】



【図 15】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 異なる性質の光導波路を接続する場合に好適に用いることのできる曲線光導波路を提供すること。

【解決手段】 コア及びクラッドからなる光導波路において、そのコア形状が中途に曲率の反転を有さず、かつ両端における曲率がゼロに漸近することを特徴とする曲線光導波路。このような曲線光導波路に別のコア形状の光導波路を光学的に接続して配置した光導波路、ならびにこのような曲線光導波路を用いた光学装置である。

【選択図】 図 1 5

特願 2 0 0 4 - 0 1 6 5 3 6

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [ 0 0 0 0 0 4 4 5 5 ]

1. 変更年月日	1 9 9 3 年 7 月 2 7 日
[変更理由]	住所変更
住 所	東京都新宿区西新宿 2 丁目 1 番 1 号
氏 名	日立化成工業株式会社